

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/350386583>

# ВИЗНАЧЕННЯ СТІЙКОСТІ РІВНОВАГИ ВАГОНА-ПЛАТФОРМИ З УРАХУВАННЯМ ЦИКЛІЧНОСТІ ПОСТРІЛІВ З ЗЕНІТНИХ УСТАНОВОК, РОЗМІЩЕНИХ НА НЬОМУ DETERMINATION OF THE STABILITY OF THE....

Article · March 2021

DOI: 10.33216/1998-7927-2021-265-1-55-59

CITATIONS

0

READS

13

2 authors:



**Alyona Lovska**

Ukrainian State University of Railway Transport

129 PUBLICATIONS 633 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



**O. V. Fomin**

State University of Infrastructure and Technologies, Kyiv, Ukraine

202 PUBLICATIONS 870 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Scientific bases of design, improvement of designs and modernization of crew parts of traditional and high-speed rolling stock of railways with the improved characteristics of interaction with a rail track [View project](#)

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2021-265-1-55-59>

УДК 629.463.62

## ВИЗНАЧЕННЯ СТІЙКОСТІ РІВНОВАГИ ВАГОНА-ПЛАТФОРМИ З УРАХУВАННЯМ ЦИКЛІЧНОСТІ ПОСТРІЛІВ З ЗЕНІТНИХ УСТАНОВОК, РОЗМІЩЕНИХ НА НЬОМУ

Ловська А.О., Фомін О.В.

## DETERMINATION OF THE STABILITY OF THE EQUILIBRIUM WAGON-PLATFORM TAKING INTO ACCOUNT THE CYCLICITY OF SHOOTERS FROM ANTI-AGENCY PLACES PLACED ON IT

Lovska A.O., Fomin O.V.

*Досліджену динамічну навантаженість несучої конструкції вагона-платформи при веденні вогняної дії. Для цього складено математичну модель, яка враховує циклічність пострілів з зенітних установок, розміщених на вагоні-платформі. Розв'язок математичної моделі проведений в програмному комплексі MathCad. Прискорення, яке діє на несучу конструкцію вагона-платформи у вертикальній площині склало близько  $5 \text{ м/с}^2$ . У поперечній площині прискорення склало близько  $4 \text{ м/с}^2$ . Отримані величини прискорень враховано при визначенні коефіцієнту стійкості рівноваги вагона-платформи. Встановлено, що стійкість рівноваги вагона при пострілі забезпечується. Проведені дослідження сприятимуть створенню інноваційного рухомого складу, а як наслідок, підвищенню ефективності експлуатації залізничного транспорту та обороноздатності країни.*

**Ключові слова:** вагон-платформа, несуча конструкція, динамічна навантаженість, стійкість рівноваги, комбіновані перевезення.

**Вступ.** На сьогоднішній день перед Україною, як машинобудівною країною з суттєвим транзитним потенціалом та внутрішньою розвинутою транспортною інфраструктурою, гостро стоять виклики економічного, соціального, технічного характеру, а також національної безпеки та оборони. Для залізничної складової, яка відіграє вирішальну роль в вирішенні проблем транспортної галузі ключовим завданням є створення інноваційних ресурсозберігаючих конструктивів вагонів, які могли б використовуватися і у військово-стратегічних цілях країни. Для створення таких конструкцій вагонів необхідним є визначення динамічної навантаженості при перевезенні військової техніки, а також можливості ведення з них вогняної дії.

Нормативна база у відповідності з якою здійснюється проектування рухомого складу не відображає питань динамічної навантаженості рухомого

складу при здійсненні з нього вогняної дії, що зумовлює необхідність її доповнення. Вирішення такого завдання сприятиме створенню інноваційного рухомого складу, а як наслідок, підвищенню ефективності експлуатації залізничного транспорту та обороноздатності країни.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Конструкційні особливості вагона-платформи для перевезення військової техніки моделі 13-192-01 висвітлюються у [1]. Вагон оснащений апарелю для завантаження/вивантаження військової техніки.

Вагон-платформа з осьовим навантаженням 27 т/вісь та візками з шириною колії 676 мм для перевезення колісної та гусеничної техніки розроблений Уралвагонзаводом (Росія). Вагон був представлений на виставці оборонного сектора в рамках виставки DefExpo 2020 в Лакхнау [2].

При цьому не оговорюється чи є можливість здійснювати вогняну дію з вагона-платформи при русі.

Вибір параметрів вагона-платформи для перевезення колісної техніки проводиться у [3]. Наведений огляд існуючих конструкцій вагонів-платформ для перевезення колісної техніки. Висвітлені особливості розробки нової конструкції вагона-платформи для контрейлерних перевезень.

Автором не висвітлюються питання можливості використання вагона-платформи для перевезення військової техніки, що на даний час є досить актуальним питанням.

Підвищення рівня надійності кріплення військової колісної техніки на залізничній платформі шляхом використання удосконалених технічних засобів проводиться у [4]. Описано конструкційні особливості тросової табельної розтяжки багаторазового використання. Однак не оговорюється чи

може дана розтяжка витримувати зусилля, які діють на неї при веденні вогняної дії з військової техніки.

Визначення показників міцності довгобазної конструкції вагона-платформи проводиться у [5]. Розрахунок здійснений для двох варіантів завантаження, при яких було отримано найбільші згинальні моменти. Визначення максимальних еквівалентних напружень у основних несучих елементах рами здійснено за методом скінчених елементів.

Аналіз конструкції інноваційного вагону для інтермодальних перевезень проводиться у [6]. Вагон призначений для перевезення вантажних автомобілів залізницею. Перевантаження автомобілів може здійснюватися за допомогою спеціальної обертової платформи з використанням сидельного тягача.

Однак в роботах не оговорюється чи є можливість здійснювати перевезення військової техніки на вагонах-платформах та проводити вогняну дію з них.

Особливості проектування залізничного вагона для інтермодальних перевезень з адаптованою завантажувальною платформою розглянуті у [7]. Прийняті конструкційні рішення обґрунтовані статичними та динамічними дослідженнями в програмних комплексах ANSYS та ADAMS/Rail.

В статті не висвітлюються питання можливості перевезення військової техніки на розробленій конструкції вагона-платформи.

**Мета статті.** Метою статті є моделювання динамічної навантаженості несучої конструкції вагона-платформи при веденні вогняної дії з нього з урахуванням циклічності пострілів з зенітних установок.

Для досягнення зазначеної мети визначені такі завдання:

- створити математичну модель для визначення динамічних навантажень, які діють на несучу конструкцію вагона-платформи при веденні вогняної дії з нього з урахуванням циклічності пострілів;

- визначити коефіцієнт стійкості рівноваги несучої конструкції вагона-платформи при веденні вогняної дії з нього з урахуванням циклічності пострілів.

#### Виклад основного матеріалу дослідження.

Для можливості ведення вогняної дії з несучої конструкції вагона-платформи при русі проведено математичне моделювання. Складено математичну модель (1), яка враховує коливання підсакування та бічну хитавицю. Розрахункова схема наведена на рис. 1.

Враховано, що вогняна дія ведеться з двох зенітних установок з дульною енергією 89 кДж.

$$\begin{cases} M_{\text{впф}} \cdot \ddot{q}_1 + c \cdot q_1 = P_{\text{тр}} (\text{sign}(\dot{\Delta}_1 - \dot{\Delta}_2) + \text{sign}(\dot{\Delta}_1 + \dot{\Delta}_2)) + P_n, \\ I_{\text{впф}} \cdot \ddot{q}_2 + c \cdot b \cdot q_2 = P_{\text{тр}} \cdot b (\text{sign}(\dot{\Delta}_1 - \dot{\Delta}_2) + \text{sign}(\dot{\Delta}_1 + \dot{\Delta}_2)) + M_n, \end{cases} \quad (1)$$

$$\Delta_1 = q_1 - b \cdot q_2, \quad \Delta_2 = q_1 + b \cdot q_2,$$

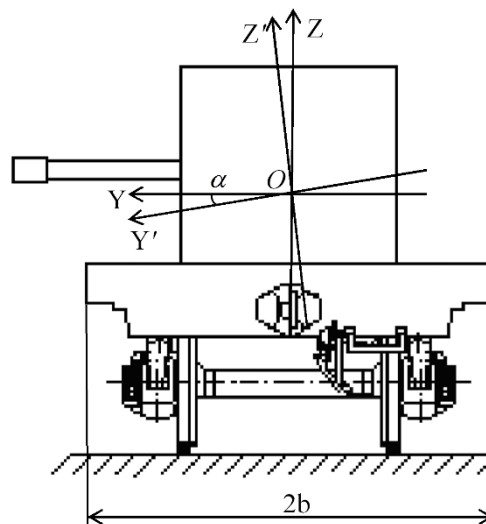


Рис. 1. Розрахункова схема вагона-платформи, завантаженого зенітними установками

де  $M_{\text{впф}}$  – маса несучої конструкції вагона-платформи;  $I_{\text{впф}}$  – момент інерції несучої конструкції вагона-платформи відносно повздовжньої осі;  $c$  – жорсткість пружин ресорного комплексу;  $P_{\text{тр}}$  – сила сухого тертя у ресорному комплекті;  $b$  – напівширина несучої конструкції вагона-платформи;  $P_n$  – сила, яка передається на несучу конструкцію вагона-платформи при потрілі;  $M_n$  – момент сили, який діє на несучу конструкцію вагона-платформи при потрілі.

Розв'язок математичної моделі здійснений в програмному середовищі MathCad за методом Рунге – Кутта [8 – 10]. Для цього введено позначення

$$q_1 = y_1; \quad q_2 = y_2; \quad q_3 = \dot{y}_1 = y_3; \quad q_4 = \dot{y}_2 = y_4. \quad (2)$$

Тоді

$$F(t, y) = \begin{bmatrix} y_3 \\ y_4 \\ \frac{P_{\text{тр}} (\text{sign}(\dot{\Delta}_1 - \dot{\Delta}_2) + \text{sign}(\dot{\Delta}_1 + \dot{\Delta}_2)) - c \cdot y_1 + P_n}{M_{\text{впф}}} \\ \frac{P_{\text{тр}} \cdot b (\text{sign}(\dot{\Delta}_1 - \dot{\Delta}_2) + \text{sign}(\dot{\Delta}_1 + \dot{\Delta}_2)) - c \cdot b \cdot y_2 + M_n}{I_{\text{впф}}} \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$Z = \text{rkfixed}(Y0, tn, tk, n, F).$$

При цьому початкові умови прийняті [10 – 12]

$$Y0 = \begin{pmatrix} 0,004 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (4)$$

Матриця інерційних коефіцієнтів має вигляд

$$M = \begin{bmatrix} M_{\text{впф}} & 0 \\ 0 & I_{\text{впф}} \end{bmatrix} \quad (5)$$

Матриця пружних коефіцієнтів

$$C = \begin{bmatrix} 2 \cdot c & 0 \\ 0 & 2 \cdot c \cdot b \end{bmatrix} \quad (6)$$

На підставі проведених розрахунків отримано прискорення, які діють на несучу конструкцію вагона-платформи при веденні вогняної дії у вертикальній площині (рис. 2) та поперечній (рис. 3).

Встановлено, що величина прискорення, яке діє на несучу конструкцію вагона-платформи у вертикальній площині складає близько  $5 \text{ м/с}^2$ . У поперечній площині прискорення складо близько  $4 \text{ м/с}^2$ .

Отримані величини прискорень враховано при визначенні коефіцієнту стійкості рівноваги вагона-платформи. Розрахункова схема наведена на рис. 4.

Умова рівноваги вагона-платформи при здійсненні пострілу з зенітних установок має вигляд:

$$k_c \geq \frac{M_{\text{відн}}}{M_{\text{пер}}} \quad (7)$$

де  $M_{\text{відн}}$  – величина відновлювального моменту,  $M_{\text{пер}}$  – величина перекидального моменту.

Величина відновлювального моменту визначається

$$M_{\text{відн}} = P_{\text{бр}} \cdot b + P_n \cdot h_z \quad (8)$$

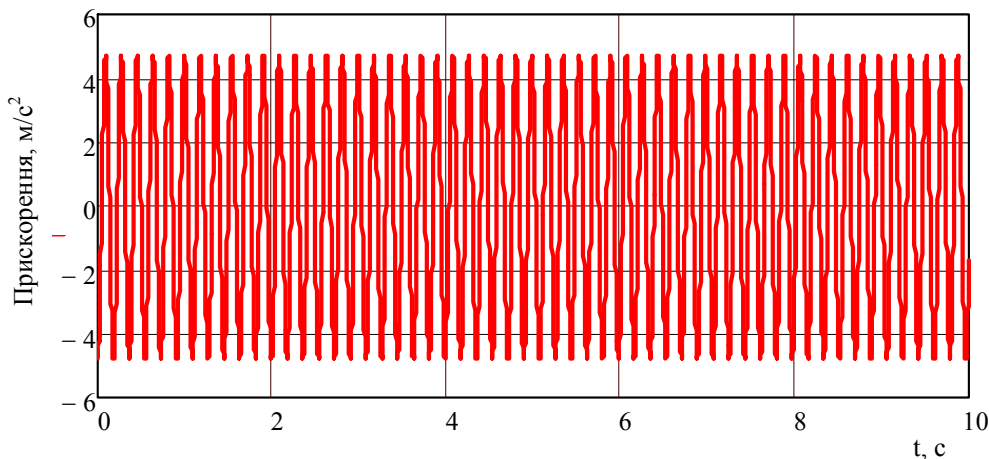


Рис. 2. Прискорення, які діють на несучу конструкцію вагона-платформи у вертикальній площині

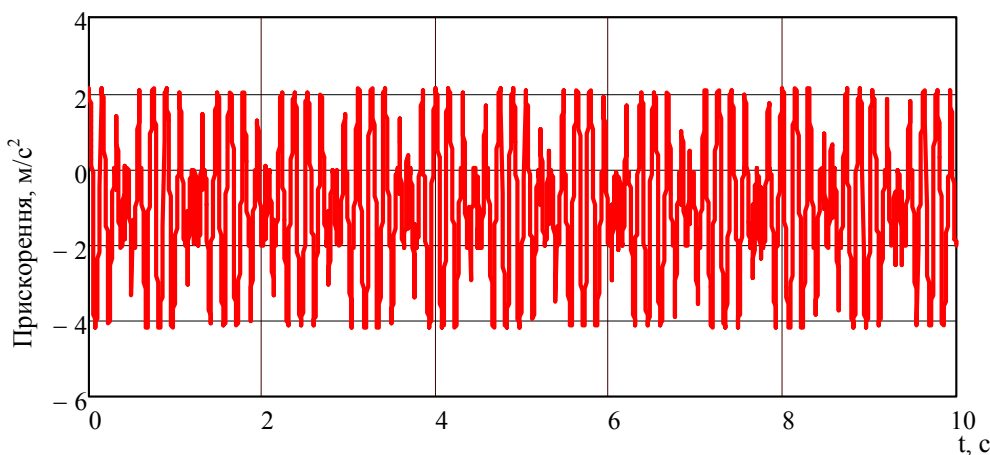


Рис. 3. Прискорення, які діють на несучу конструкцію вагона-платформи у поперечній площині

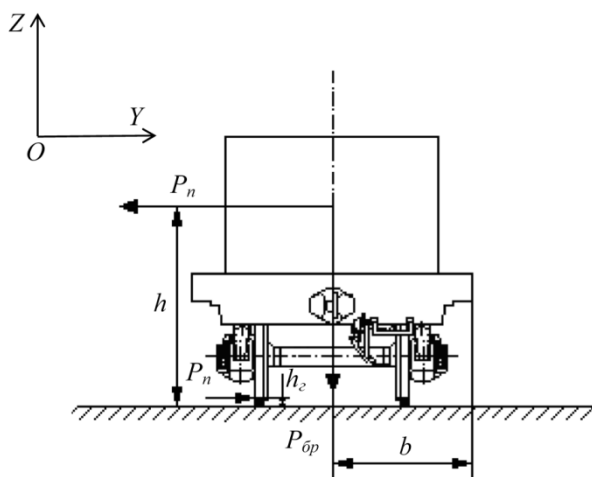


Рис. 4. Розрахункова схема вагона-платформи для визначення стійкості рівноваги

Величина перекидального моменту визначається

$$M_{пер} = P_n \cdot h, \quad (9)$$

де  $P_{ор}$  – вага-брутто несучої конструкції вагона;  $b$  – напівширина вагона;  $P_n$  – навантаження, яке передається на несучу конструкцію при пострілі;  $h_c$  – висота гребеня колеса;  $h$  – відстань від центру ваги зенітної установки до рівня верху головки рейки.

На підставі проведених розрахунків встановлено, що коефіцієнт стійкості рівноваги несучої конструкції вагона-платформи при здійсненні вогняної дії однією зенітною установкою має значення близько 4, двома – близько 2. Отже стійкість рівноваги вагона при пострілі забезпечується.

#### Висновки:

1. Створено математичну модель для визначення динамічних навантажень, які діють на несучу конструкцію вагона-платформи при веденні вогняної дії з нього з урахуванням циклічності пострілів. Враховано, що вогняна дія ведеться з двох зенітних установок. Встановлено, що величина прискорення, яке діє на несучу конструкцію вагона-платформи у вертикальній площині складає близько  $5 \text{ м/с}^2$ . У поперечній площині величина прискорення складала близько  $4,0 \text{ м/с}^2$ .

2. Визначено коефіцієнт стійкості рівноваги несучої конструкції вагона-платформи при веденні вогняної дії з нього з урахуванням циклічності пострілів. При цьому коефіцієнт стійкості рівноваги несучої конструкції вагона-платформи при здійсненні вогняної дії однією зенітною установкою має значення близько 4, двома – близько 2.

Проведені дослідження сприятимуть створенню інноваційного рухомого складу, а як наслідок, підвищенню ефективності експлуатації залізничного транспорту та обороноздатності країни.

#### Подяка

Дані дослідження проведені в рамках наукової теми молодих вчених “Інноваційні засади створення ресурсозберігаючих конструктивів вагонів шляхом урахування уточнених динамічних навантажень та функціонально-адаптивних флеш-концептів”, яка виконується за рахунок коштів державного бюджету України з 2020 р.

#### Література

1. Платформу оснастили аппарелью / <http://www.ato.ru/content/platformu-osnastili-apparelyu>. 06.12.2006.
2. Индийская концепция универсалов, представленная российским поставщиком / <https://www.railwaygazette.com/traction-and-rolling-stock/indian-wagon-concept-presented-by-russian-defence-supplier/55870.article>. 26.02.2020.
3. Бондаренко, А. И. Выбор параметров вагона-платформы для перевозки колесной техники / А. И. Бондаренко // Транспорт Российской Федерации. – 2013. – № 3 (46). – С. 18 – 20.
4. Костюк, В. В. Підвищення рівня надійності кріплення військової колісної техніки на залізничній платформі / В. В. Костюк, П. О. Русіло, Ю. В. Варванець, О. М. Калінін // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Транспортне машинобудування. – 2018. – № 29 (1305). – С. 56 – 61.
5. Кельріх, М. Б. Дослідження на міцність конструкції довгобазної платформи / М. Б. Кельріх, Д. В. Федосов-Ніконов // Вісник Східноукраїнського Національного університету імені Володимира Даля. – 2016. – № 1 (225). – С. 90 – 94.
6. Wiesław Krasoń. Innovative Project of Prototype Railway Wagon and Intermodal Transport System / Wiesław Krasoń, Tadeusz Niezgodą, Michał Stankiewicz // Transportation Research Procedia. – 2016. – Vol. 14. – P. 615 – 624.
7. Pavol Šťastniak. Design of a new railway wagon for intermodal transport with the adaptable loading platform / Pavol Šťastniak, Pavol Kurčík, Alfréd Pavlík // MATEC Web of Conferences. – 2018. – Vol. 235(2): 00030.
8. Tkachenko, V. Research of resistance to the motion of vehicles related to the direction by railway / V. Tkachenko, S. Saprónova, I. Kulbovsky, O. Fomin // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017. Vol. 5, Issue 7 (89). – P. 65–72. doi: 10.15587/1729-4061.2017.109791
9. Ловська, А. О. Удосконалення несучої конструкції вагона-платформи для підвищення ефективності контейнерних перевезень / А. О. Ловська // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. – 2017. – Вип. 1 (67) – С. 168 – 183.
10. Дьомін, Ю. В. Основи динаміки вагонів: навч. посіб. / Ю. В. Дьомін, Г. Ю. Черняк. Київ, КУЕТТ. – 2003. – 269 с.
11. Fomin, O. Experimental confirmation of the theory of implementation of the coupled design of center girder of the hopper wagons for iron ore pellets / O. Fomin, I. Kulbovsky, E. Sorochinska, S. Saprónova, O. Vambura // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017. Vol. 5, Issue 1 (89). – P. 11–19. doi: 10.15587/1729-4061
12. ДСТУ 7598:2014. Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних). [Чинний від 2015-07-01]. Київ, 2015. 250 с.

## References

- 1 Platformu osnastili apparelyu / <http://www.ato.ru/content/platformu-osnastili-apparelyu>. 06.12.2006
- 2 Indijskaya koncepcziya universalov, predstavennaya rossijskim postavshhikom / <https://www.railwaygazette.com/traction-and-rolling-stock/indian-wagon-concept-presented-by-russian-defence-supplier/55870.article>. 26.02.2020.
- 3 Bondarenko, A. I. Vybor parametrov vagona-platformy dlya perevozki kolesnoj tekhniki / A. I. Bondarenko // Transport Rossijskoj Federaczii. – 2013. – № 3 (46). – S. 18 – 20.
- 4 Kostyuk, V. V. Pidvishhennya rivnya nadijnosti kriplennya vijskovoyi kolisnoyi tekhniki na zaliznichnij platformi / V. V. Kostyuk, P. O. Rusilo, Yu. V. Varvanecz, O. M. Kalinin // Visnik NTU «KhPI». Seriya:Transportne mashinobuduvannya. – 2018. – № 29 (1305). – S. 56 – 61.
- 5 Kelrikh, M. B. Doslidzhennya na micznist konstrukciji dovgobaznoyi platformi / M. B. Kelrikh, D. V. Fedosov-Nikonov // Visnik Skhidnoukrayinskogo Nacziionalnogo universitetu imeni Volodimira Dalya. – 2016. – № 1 (225). – S. 90 – 94.
- 6 Wiesław Krasoń. Innovative Project of Prototype Railway Wagon and Intermodal Transport System / Wiesław Krasoń, Tadeusz Niezgodą, Michał Stankiewicz // Transportation Research Procedia. – 2016. – Vol. 14. – P. 615 – 624.
- 7 Pavol Šťastniak. Design of a new railway wagon for intermodal transport with the adaptable loading platform / Pavol Šťastniak, Pavol Kurčík, Alfréd Pavlík // MATEC Web of Conferences. – 2018. – Vol. 235(2): 00030.
- 8 Tkachenko, V. Research of resistance to the motion of vehicles related to the direction by railway / V. Tkachenko, S. Saponova, I. Kulbovsky, O. Fomin // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017. Vol. 5, Issue 7 (89). – P. 65–72. doi: 10.15587/1729-4061.2017.109791
- 9 Lovska, A. O. Udoskonalennya nesuchoyi konstrukcziyi vagona-platformi dlya pidvishhennya efektyvnosti kontejnernih perevezhen / A. O. Lovska // Nauka ta progres transportu. Visnik Dnipropetrovskogo nacziionalnogo universitetu zaliznichnogo transportu. – 2017. – Vip. 1 (67) – C. 168 – 183.
- 10 Domin, Yu. V. Osnovi dinamiki vagoniv: navch. posib. / Yu. V. Domin, G. Yu. Chernyak. Kiyiv, KUETT. – 2003. – 269 s.
- 11 Fomin, O. Experimental confirmation of the theory of implementation of the coupled design of center girder of the hopper wagons for iron ore pellets / O. Fomin, I. Kulbovsky, E. Sorochinska, S. Saponova, O. Bambura // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017. Vol. 5, Issue 1 (89). – P. 11–19. doi: 10.15587/1729-4061
- 12 DSTU 7598:2014. Vagoni vantazhnI. Zagalni vimogi do rozrahunkiv ta proektuvannya novih i modernizovanih vagoniv koliiyi 1520 mm (nesamohidnih). [Chinniy vid 2015-07-01]. Kiyiv, 2015. 250 p.

**Ловская А.А., Фомин А.В. Определение устойчивости равновесия вагона-платформы с учетом цикличности выстрелов из зенитных установок, размещенных на нем**

*Исследовано динамическую нагруженность несущей конструкции вагона-платформы при ведении огневых действий. Для этого составлена математическая модель, учитывающая цикличность выстрелов из зенитных установок, размещенных на вагоне-платформе. Решение*

*математической модели проведено в программном комплексе MathCad. Ускорение, которое действует на несущую конструкцию вагона-платформы в вертикальной плоскости составило около  $5 \text{ м/с}^2$ . В поперечной плоскости ускорение составило около  $4 \text{ м/с}^2$ . Полученные величины ускорений учтены при определении коэффициента устойчивости равновесия вагона-платформы. Установлено, что устойчивость равновесия вагона при выстреле обеспечивается. Проведенные исследования будут способствовать созданию инновационного подвижного состава, а как следствие, повышению эффективности эксплуатации железнодорожного транспорта и обороноспособности страны.*

**Ключевые слова:** вагон-платформа, несущая конструкция, динамическая нагруженность, устойчивость равновесия, комбинированные перевозки

**Lovska A.O., Fomin O.V. Determination of the stability of the equilibrium wagon-platform taking into account the cyclicity of shooters from anti-agency places placed on it**

*Today, one of the main tasks of railway transport is to create innovative resource-saving constructions of cars that could be used not only for the carriage of goods by rail, but also for military and strategic purposes of the country. To create such structures of wagons, it is necessary to take into account the specified values of loads that can act on them in the transportation of military equipment, as well as the study of the possibility of conducting fire action on them. The normative base according to which the rolling stock is designed does not reflect the issues of dynamic loading of the rolling stock during its firing action, which makes it necessary to supplement it. Solving this problem will help to create innovative rolling stock. Mathematical modeling was carried out to allow firing action from the supporting structure of the wagon platform when moving. A mathematical model has been drawn up that takes into account the oscillation of the bounce and the lateral swing. It is taken into account that the fire action is conducted from two anti-aircraft installations. It is assumed that the shots are fired simultaneously from two anti-aircraft installations. The mathematical model is solved in the MathCad software environment using the Runge-Kutta method. It is established that the value of acceleration acting on the supporting structure of the wagon platform in the vertical plane when conducting fire action from it is about  $5 \text{ m/s}^2$ . In the transverse plane, the acceleration was about  $4 \text{ m/s}^2$ . The obtained values of accelerations are taken into account in determining the coefficient of equilibrium of the balance of the wagon-platform. Based on the calculations, it is established that the coefficient of equilibrium stability of the load-bearing structure of the wagon-platform during the firing action with one anti-aircraft unit has a value of about 4, two – about 2. Therefore, the stability of the balance of the car when fired is ensured. The conducted researches will contribute to creation of innovative rolling stock, increase of efficiency of operation of railway transport and defense capability of the country.*

**Keywords:** wagon platform, load-bearing structure, dynamic loading, stability of balance, combined transportation.

**Ловська Альона Олександрівна** – к.т.н., доц., доцент кафедри інженерія вагонів та якості продукції, Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків), [alyonalovskaya.vagons@gmail.com](mailto:alyonalovskaya.vagons@gmail.com)  
**Фомін Олексій Вікторович** – д.т.н., доц., професор кафедри вагони та вагонне господарство, Державний університет інфраструктури та технологій (м. Київ), [fomin1985@ukr.net](mailto:fomin1985@ukr.net)

Стаття подана 23. 01. 2021 р.